

# PLATAFORMA ESPACIAL PARA PROCESSAMENTO DE MATERIAIS EM AMBIENTE DE MICROGRAVIDADE

Danton José Fortes Villas Bôas<sup>1</sup>  
Daniel Soares de Almeida<sup>2</sup>  
Paulo Moraes Jr.<sup>3</sup>  
Flávio de Azevedo Correa Júnior<sup>4</sup>

## Resumo:

Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma Plataforma Espacial para Processamento de Materiais em Ambiente de Microgravidade. Entre outros fatores, no ambiente espacial, ocorre uma aparente ausência do efeito gravitacional. Este efeito, chamado de microgravidade, permite observar e explorar fenômenos e processos em experimentos científicos e tecnológicos que seriam afetados pela influência da gravidade terrestre. A condução de experimentos num ambiente de microgravidade possibilita o melhor entendimento, e o posterior aperfeiçoamento na Terra, de processos físicos, químicos e biológicos. Também permite o desenvolvimento de novas tecnologias a serem geradas em unidades produtivas piloto a serem posicionadas na órbita da Terra que certamente farão parte do uso futuro do Espaço. Em relação aos processos físicos podem-se ressaltar as técnicas de crescimento de cristais, solidificação e processamento de metais, ligas, semicondutores, etc. Entre os vários meios de acesso ao ambiente de microgravidade encontram-se as plataformas sub-orbitais e as plataformas orbitais recuperáveis. É apresentada, na primeira parte, uma introdução aos processos de obtenção de metais e ligas em ambiente de microgravidade e na segunda parte, a Plataforma para Experimentos em Microgravidade SARA em suas duas versões. A primeira, a ser lançada em 2004, é o SARA Suborbital e a segunda versão a ser qualificada até 2008 é o SARA Orbital. No trabalho são ressaltados os principais parâmetros técnicos, as características idealizadas do ambiente de microgravidade, as dimensões e requisitos da carga útil.

**Palavras-chave:** microgravidade, solidificação, fusão.

---

XXXV SEMINÁRIO DE FUSÃO, REFINO E SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS  
17 a 19 de Maio de 2004 - Salvador - BA – Brasil

Centro Técnico Aeroespacial - Instituto de Aeronáutica e Espaço - [www.iae.cta.br](http://www.iae.cta.br)  
Pça Mal-Ar Eduardo Gomes, 50 - 12228-904 - São José dos Campos – SP – BRASIL

<sup>1</sup> Tecnologista, Tel.: (12) 3947 4675, e-mail: [danton@iae.cta.br](mailto:danton@iae.cta.br)

<sup>2</sup> Tecnologista, Tel.: (12) 3947-6470, e-mail: [dsalmeida@iae.cta.br](mailto:dsalmeida@iae.cta.br)

<sup>3</sup> Tecnologista, Tel.: (12) 3947-4614, e-mail: [moraes@iae.cta.br](mailto:moraes@iae.cta.br)

<sup>4</sup> Tecnologista, Tel.: (12) 3947-4850, e-mail: [flavio@iae.cta.br](mailto:flavio@iae.cta.br)

## Introdução

Denomina-se ambiente de microgravidade o ambiente no qual se promove ou se obtém a redução não só de sua componente gravitacional, porém de todas as suas acelerações ortogonais. O prefixo “micro” vem da palavra grega *mikros*, e significa pequeno. Genericamente, o termo “microgravidade” é empregado na designação de um ambiente onde se verificam as presenças de baixa ( $\sim 10^{-2}$  g) a micro ( $\sim 10^{-6}$  g) acelerações. Na realização de um experimento em um ambiente controlado pode-se reduzir ou até eliminar as acelerações quase-estáticas, vibratórias e transientes do meio, porém a aceleração gravitacional atua em solo de forma contínua e certa.

Permeando qualquer tipo de experimento em solo a gravidade pode impedir, mascarar, e até alterar resultados de fenômenos elementares. Em verdade, somente a partir da década de 70, com o acesso ao ambiente de microgravidade proporcionado por missões espaciais russas e americanas, é que certos fenômenos naturais, e seus efeitos, começaram a serem observados, caracterizados e melhor compreendidos.

Um dos principais interesses da pesquisa em microgravidade (ESA, 1998 e NASA, 1997) dentro da ciência dos materiais consiste em obter um melhor conhecimento de como os fenômenos orientados pela gravidade afetam a solidificação e o crescimento de cristais em materiais. O processamento de materiais (Wilcox, W.R. e Regel, L.L., 2001) é particularmente afetado pela convecção natural induzida por diferenciais térmicos (movimentação dirigida no fluido pela diferença de densidades causadas por diferencial de temperatura), pela sedimentação (deposição de diferentes materiais em camadas distintas), e pela pressão hidrostática (devido ao peso do material sobre a área de aplicação). Estes efeitos induzidos pela gravidade podem causar irregularidades, ou defeitos, na estrutura interna dos materiais, que, por sua vez, alteram as propriedades dos materiais. Em microgravidade estes efeitos oriundos da ação da gravidade são suprimidos significativamente, permitindo aos pesquisadores um estudo aprofundado de efeitos e eventos significativos, que de outra forma estariam mascarados ficando difíceis ou impossíveis de serem estudados quantitativamente na Terra.

A supressão da gravidade, e de outras acelerações residuais, propiciam um ambiente com influência direta sobre o processo, a estrutura e as propriedades dos materiais, justificando-se assim o interesse científico por este ambiente.

Em condições de microgravidade deixam de existir transporte de massas por correntes de convecção natural em gases e líquidos, o efeito de tensão superficial se torna mais forte, e substâncias com diferentes pesos específicos se dispersam homoganeamente.

Este ambiente propicia o desenvolvimento de ligas contendo uma diferenciação na distribuição de seus elementos de uma liga quando comparado ao mesmo processo de obtenção em solo. Existe uma distribuição mais homogênea.

Também como diferenciador, este ambiente é único para estudo das correntes de Marangoni (convecção termocapilar) (Ahlborn, H. et al., 1993), uma vez que em terra a gravidade impossibilita a ocorrência deste fenômeno de forma isolada.

Outro efeito de interesse em microgravidade é a possibilidade de processamentos de experimentos em “pontes líquidas”. Tem-se numa “ponte líquida” uma redução do contato de um fluido líquido com o recipiente reduzindo efeitos de contaminação.

Assim, a condução de experimentos num ambiente de microgravidade possibilita o melhor entendimento dos fenômenos envolvidos, e o posterior aperfeiçoamento em Terra, dos processos físicos, químicos e biológicos relacionados. Estes conhecimentos poderão ser aplicados no projeto e desenvolvimento de estratégias de controle de processo e produção em

laboratórios e indústrias na Terra, além de permitir a produção-piloto de pequenas quantidades de materiais de alta qualidade e com propriedades únicas para estudo.

Na área de processamento de materiais, estudos em ambiente de microgravidade são realizados na sinterização e na formação de ligas, na dispersão de ligas, na formação de espumas e de matrizes, na fusão de vidros, em experimentos de solda, na difusão em líquidos, no processamento em pontes líquidas, em transição de fases, na obtenção de filmes finos, em experimentos coloidais, no crescimento de cristais etc.

Na área da físico-química, experimentos são realizados em convecção de Marangoni, eletrólise, crescimento de cristais orgânicos, transformação de fases, reações químicas, aquecimento de líquidos, capilaridade, combustão, dissolução, fusão, fluuabilidade, difusão e outros fenômenos de transporte.

Os meios de acesso ao ambiente de microgravidade envolvem torres verticais de queda livre, vôos parabólicos em aviões, queda livre a partir de balões, plataformas em vôos sub-orbitais (foguetes), plataformas orbitais recuperáveis, ônibus espaciais e estação orbital.

Atualmente, a literatura disponível sobre processamento de materiais em microgravidade é muito vasta e muita informação está disponível na Internet.

### **Fundição de ligas de alta performance**

Em aplicações avançadas os materiais convencionais não estão atendendo as exigências impostas pela, para tanto, um melhor controle da microestrutura durante a solidificação é necessário e, em consequência deste melhor controle, haverá uma melhoria das propriedades do produto final.

Tanto na indústria automotiva quanto na aeroespacial há uma busca por redução no peso dos componentes com o objetivo de aumentar a eficiência, reduzir o consumo de combustível e reduzir a emissão de poluentes. No entanto, estes novos materiais com alta resistência mecânica e elevada tenacidade devem ser produzidos com baixo custo. Uma maneira de se reduzir custos é a substituição da etapa de usinagem pela fusão de precisão.

Métodos computacionais avançados e técnicas de controle do fluxo do metal fundido usando campos magnéticos são utilizados nos processos de fundição para melhorar as propriedades mecânicas.

A redistribuição dos constituintes da liga e o fluxo de calor durante a solidificação são processos determinantes das propriedades mecânicas dos fundidos. As condições de microgravidade proporcionam as condições ideais para caracterizar os mecanismos de transporte causados apenas por difusão permitindo assim, validar modelos e teorias. Portanto, ambientes de microgravidade podem contribuir para a obtenção de dados mais precisos dos mecanismos de formação das microestruturas das diversas ligas.

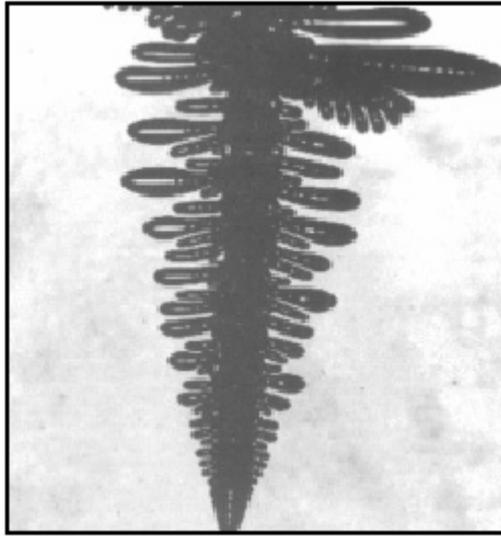


Figura 1. Dendrita de material transparente crescida em ambiente de microgravidade.

A Figura 1 mostra um exemplo de como um material solidifica. Este exemplo pode ser utilizado para modelar solidificação de metais.

Muitas informações obtidas em experimentos de microgravidade serão úteis para validar modelos mais complexos e precisos que contribuirão para aprimorar as técnicas de fundição e para desenvolver novos processos.

Para atender a estes novos modelos numéricos e técnicas de computação, são necessárias medidas cada vez mais precisas de propriedades termomecânicas como, por exemplo, condutividade térmica, densidade, difusividade, viscosidade e calor específico. A precisão destas medidas é afetada direta ou indiretamente (contato com a lingoteira, deformação superficial, convecção, etc.) pela gravidade.

Medidas de propriedades termomecânicas de materiais em altas temperaturas têm sido feitas em microgravidade com elevada precisão e, no futuro, poderão ser estendidas para materiais industriais.

### **Ligas de fases imiscíveis**

Uma outra aplicação da microgravidade é a obtenção de ligas de substâncias imiscíveis. Alguns materiais apresentam duas fases líquidas imiscíveis em determinadas faixas de temperaturas. Na Terra, a diferença de densidades destas fases líquidas leva à formação de duas camadas. Impedindo assim, a distribuição uniforme de partículas em uma matriz e tornando impossível seu emprego industrial.

Um grande número de tentativas de se obter, em microgravidade, uma distribuição homogênea em várias ligas e também em materiais modelo resultou em regiões inesperadas de fases separadas. Esta segregação é atribuída a mecanismos de migração de bolhas, denominada migração de Marangoni, causado por gradientes de tensão na superfície das camadas.

Estes gradientes estão diretamente relacionados a gradientes de temperatura na matriz durante o resfriamento e solidificação e, portanto, são independentes da gravidade. Este mecanismo foi estudado teoricamente e modelos foram desenvolvidos. Posteriormente, experimentos muito precisos em microgravidade foram realizados para validar os modelos numéricos.

Em ambiente de microgravidade foi demonstrada a possibilidade de controlar a direção de migração e a velocidade das camadas através do controle do fluxo de calor. O próximo passo será transferir estes conhecimentos para processos produtivos.

Balanceando a sedimentação causada pela gravidade com o efeito Marangoni será possível atingir um estado de equilíbrio dinâmico e, assim, conseguir uma dispersão estável na matriz durante a solidificação. Este conceito está sendo testado em novos materiais como, por exemplo, uma liga de matriz de alumínio com inclusões distribuídas de zinco ou bismuto para aplicação em esferas de rolamentos para motores de automóveis. Nestes materiais a matriz de alta resistência mecânica suporta as cargas dinâmicas enquanto as inclusões macias promovem a auto lubrificação. O desenvolvimento destes novos métodos de fabricação em processos economicamente viáveis permitirá o desenvolvimento de motores significativamente mais econômicos.

Um outro experimento usando uma liga comercial de alumínio foi realizado em ambiente de microgravidade com o objetivo de estudar a redistribuição de partículas durante a solidificação para uma melhor compreensão da dinâmica de partículas insolúveis na interface líquido/sólido. Estes mecanismos estão relacionados com a formação de defeitos como inclusões e vazios na fundição de metais, obtenção de cristais de alta pureza e obtenção de ligas monoeutéticas (figura 2).

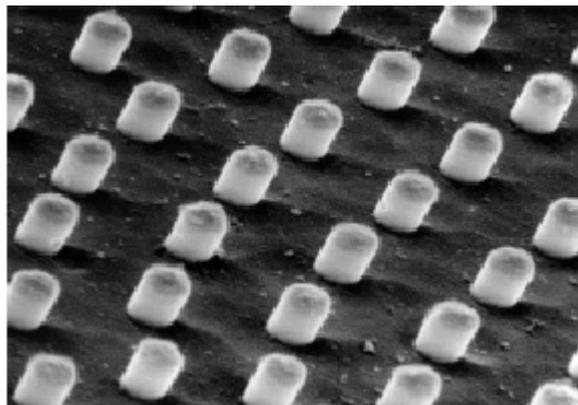


Figura 2. Micrografia de uma liga de alumínio-índio obtida em ambiente de microgravidade, o índio forma fibras cilíndricas na matriz de alumínio.

### **Crescimento de cristais de Telureto de Cádmio (CdTe)**

Materiais para componentes eletrônicos como, por exemplo, o CdTe e compostos relacionados são utilizados em detectores termais de alta sensibilidade e componentes de refração ótica. Até hoje, estas aplicações são limitadas e muito caras por causa da dificuldade de se obter cristais de qualidade suficiente.

Detectores de raios-X e raios gama à base de CdTe têm alto potencial para diagnósticos médicos assim como detectores de infravermelho de alta resolução terão grande aplicação para imageamento térmico e telecomunicação. No entanto, a comercialização destes sistemas avançados de detecção é limitada pela dificuldade de se obter CdTe na forma de grandes cristais com a qualidade suficiente.

Resultados de experimentos recentes têm demonstrado que novas técnicas em microgravidade possibilitarão a obtenção de grandes cristais com baixo nível de defeitos, como, por exemplo, maclas e discordâncias.

### Plataforma Orbital Recuperável

Com objetivo de atender uma crescente demanda, no Brasil (AEB, 1999) e no exterior, para realização de experimentos científicos e tecnológicos de média duração em ambiente de microgravidade, encontra-se em desenvolvimento no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), do Centro Técnico Aeroespacial (CTA), uma plataforma orbital recuperável de pequeno porte, designada pela sigla SARA-(SA)télite de Reentrada Atmosférica). Esta plataforma, que vem sendo desenvolvida em parceria com instituições de ensino e pesquisa do Brasil e com apoio da Agência Espacial Brasileira (Moraes & Bogossian, 2002), além de complementar os meios já existentes para tais fins, como torres de queda livre, aeronaves em vôo parabólico, foguetes sub-orbitais, etc., representa uma alternativa interessante por ter sido especificada para oferecer um maior tempo para experimentação e um excelente nível de microgravidade (Moraes, 1998). O perfil típico da missão da plataforma é apresentado na figura 3. As fases principais são: lançamento, fase orbital, indução de reentrada, reentrada, descida com pára-quedas e impacto no solo. Os experimentos de microgravidade são realizados na fase orbital, a qual poderá durar até 10 dias. O nível de microgravidade previsto é de  $10^{-6}$  g. O lançamento do primeiro protótipo é previsto para 2008.

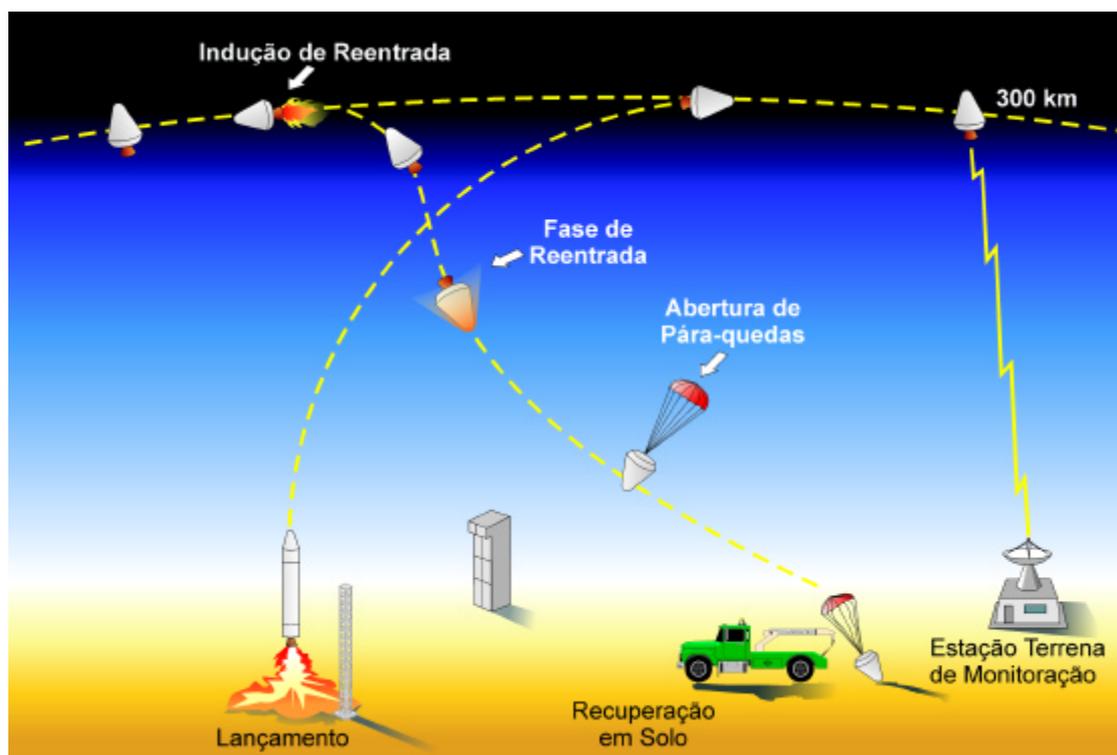


Figura 3. Perfil da Missão do SARA

### SARA Suborbital

Para a série de ensaios em vôo, fazendo-se uso de foguetes de sondagem em trajetória de vôo sub-orbital, foi proposta (Moraes, 1999) e encontra-se em desenvolvimento uma plataforma para aquisição de variáveis aerodinâmicas e térmicas como também para realização de testes de qualificação de equipamentos e sub-sistemas embarcados. Esta plataforma designada por SARA Suborbital, geometricamente idêntica à configuração orbital do SARA, foi projetada para suportar um vôo sub-orbital, com o foguete de alto desempenho VS40

(Boscof & Macera, 1993), e ser recuperada por pára-quedas (Koldaev & Moraes, 2000) e resgatada no mar. A configuração geral da plataforma pode ser vista na figura 4. O perfil típico da missão é apresentado na figura 5. O tempo de microgravidade é de 8 minutos levando uma carga útil (experimento) de 25 kg, acomodada em um segmento na forma de um cone com dimensões aproximadas de 720 mm de diâmetro na base, 435 mm de diâmetro superior e 670 mm comprimento, denominado de Módulo de Experimentação. O nível de microgravidade previsto é de  $10^{-2}$  g podendo chegar a  $10^{-5}$  g com a inclusão de um sistema de controle de atitude. O lançamento do primeiro protótipo é previsto para 2004.

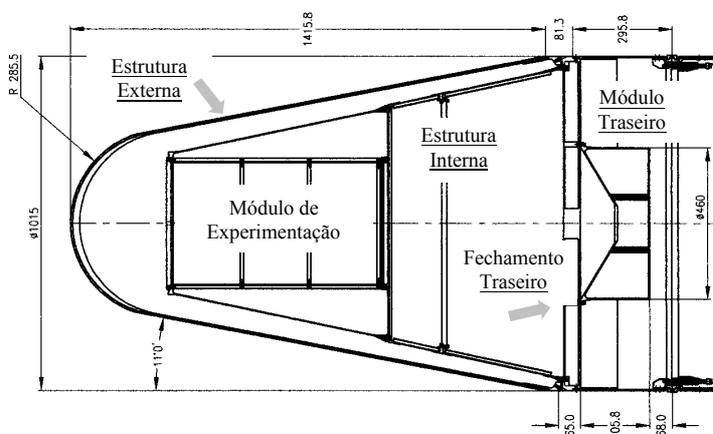


Figura 4. SARA Suborbital. Forma, leiaute e dimensões.

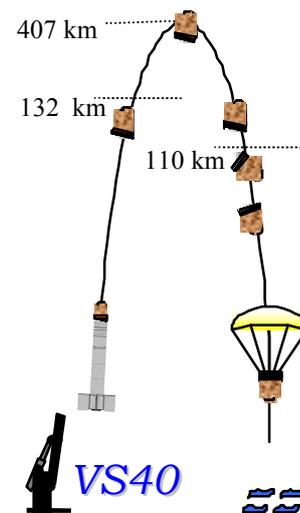


Figura 5. Perfil da missão do SARA Suborbital

## Conclusões

Com objetivo de propiciar um meio para a realização e eventual produção de materiais de alta qualidade em um ambiente com reduzida influência da aceleração gravitacional foi apresentada e descrita sucintamente uma plataforma orbital recuperável, ora em desenvolvimento no Instituto de Aeronáutica e Espaço do Centro Técnico Aeroespacial.

Foram apresentadas também as vantagens obtidas nos processos e na qualidade de ligas metálicas quando estas são processadas em ambiente de microgravidade.

## Referências

Páginas da Internet sobre microgravidade, atualizadas em Novembro de 2003:

<http://www.aeb.gov.br/microgravidade.htm>

<http://www.esrin.esa.it/htdocs/mgdb/mgdbhome.html>

<http://mgravity.itsc.uah.edu/microgravity/idea/idea.stm>

<http://mgravity.itsc.uah.edu/microgravity/micrex/micrex.stm>

<http://spacelink.nasa.gov/Instructional.Materials/NASA.Educational.Products/Microgravity>

<http://microgravity.nasa.gov/da.html>

<http://www.ncmr.org/education/k12/classroom.html>

<http://www.nationalacademies.org/ssb/heds2menu.htm>

AEB, I Workshop Brasileiro sobre Microgravidade, AEB, Brasília-DF, Maio 1999

Ahlborn, H. et al, Investigation of the Marangoni-motion on ternary Al-Si-Bi-alloys under microgravity conditions, Materials Science and Engineering, A173, 133-135, 1993.

Bosco, J., Macera, S. R., 1993, "Programme Spatial Bresilien: La fusée VS-40", ESA SP-355, Proc. 11th ESA Symposium on European Rocket and Balloon Programs and Related Research, Lillehammer, Noruega.

Microgravity: A Tool for Industrial Research Applied Research on the International Space Station, ESA Publications Division, Editor: Andrew Wilson, ISBN: 92-9092-605-8, European Space Agency, 1998.

Microgravity: A Teacher's Guide with Activities in Science, Mathematics, and Technology, National Aeronautics and Space Administration, EG-1997-08-110-HQ, 1997.

Koldaev, V., Moraes Jr., P., "Non-guided Parachute System for Recovery of Small Orbital Payloads", Anais do CONEM 2000 - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CD rom, 07-11 ago 2000, Natal-RN

Moraes Jr., P., 1998, "Design Aspects of the Recoverable Orbital Platform SARA", Anales do 80 Congreso Chileno de Ingenieria Mecánica, Octubre 26-30, Concepción, Chile, vol. 1, pp. 39-44

Moraes Jr., P., 1999, "Proposta para Ensaio em Vôo Suborbital do SARA com Veículo VS40", Nota Técnica NT-166/ASE-N/99, CTA/IAE, São José dos Campos-SP, 15 Abril 1999

Moraes Jr., P., Bogossian, O. L., 2002, "2<sup>o</sup> Encontro de Gerentes de Projetos do UNIESPAÇO", Relatório AEB/Projeto UNIESPAÇO, AEB, Brasília-DF, Abril 2002

Wilcox, W.R., Regel, L.L., Microgravity Effects on Materials Processing: A Review, Associazione Italiana di Metallurgia, Conference Proceedings of EUROMAT 2001, Italy, 2001.

# SPACE PLATFORM FOR PROCESSING OF MATERIALS IN MICROGRAVITY ENVIRONMENT

Danton Jose Fortes Villas Bôas<sup>1</sup>  
Daniel Soares de Almeida<sup>2</sup>  
Paulo Moraes Jr.<sup>3</sup>  
Flávio de Azevedo Correa Júnior<sup>4</sup>

## Abstract:

This work has as objective to present the development of a Space Platform for Processing of Materials in Microgravity Environment. Among others factors, in the space environment, occurs an apparent absence of gravitational effect. This effect, called microgravity, allows to observe and to explore phenomena and processes in scientific and technological experiments that would be affected by the influence of the terrestrial gravity. The conduction of experiments in a microgravity environment makes possible the best understanding, and after the perfecting in the Earth, of physical, chemical and biological processes. Also it allows the development of new technologies to be used in productive-pilot units located in the orbit of the Earth that certainly will be part of the future use of the Space. In relation to the physical processes we can stand out the techniques of crystal growth, solidification and processing of metals, leagues, semiconductors, etc. Among the various ways of access to the microgravity environment are the sub-orbital platforms and recoverable orbital platforms. It is presented, in the first part, an introduction to the processes of metals and leagues obtention in microgravity environment and in the second part, the Platform for Experiments in Microgravidade SARA in its two versions. The first one, to be launched in 2004, is the SARA Suborbital and the second version to be qualified up to 2008 is the SARA Orbital. In this paper the main technical parameters, the predicted microgravity environment characteristics, the dimensions and requirements of the payload are described.

**Keywords:** microgravity, solidification, fusing.

---

XXXV STEELMAKING SEMINAR  
May 17 to 19, 2004 - Salvador - BA - Brazil

Centro Técnico Aeroespacial - Instituto de Aeronáutica e Espaço - [www.iae.cta.br](http://www.iae.cta.br)  
Pça Mal-Ar Eduardo Gomes, 50 - 12228-904 - São José dos Campos - SP - BRAZIL

<sup>1</sup> Tecnologist, Phone.: (12) 3947 4675, e-mail: [danton@iae.cta.br](mailto:danton@iae.cta.br)

<sup>2</sup> Tecnologist, Phone.: (12) 3947-6470, e-mail: [dsalmeida@iae.cta.br](mailto:dsalmeida@iae.cta.br)

<sup>3</sup> Tecnologist, Phone.: (12) 3947-4614, e-mail: [moraes@iae.cta.br](mailto:moraes@iae.cta.br)

<sup>4</sup> Tecnologista, Tel.: (12) 3947-4850, e-mail: [flavio@iae.cta.br](mailto:flavio@iae.cta.br)